

**Пятнов Максим Владимирович**

## **АННОТАЦИЯ**

**научно-квалификационной работы (диссертации)**

# **«НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ФОТОННОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА С ВКЛЮЧЕНИЯМИ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ РЕЗОНАСНЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

**03.06.01 «Физика и астрономия»**

**01.04.05 «Оптика»**

Работа посвящена исследованию распространения света в одномерных фотоннокристаллических структурах на основе холестерических жидких кристаллов. Исследуются спектральные и поляризационные проявления локализованных мод, индуцированных как объёмными дефектами структуры холестерика, так и границами кристалла. Описываются фундаментальные эффекты, не проявляющиеся в скалярных структурах и допускающие практическое применение в устройствах фотоники и оптоэлектроники.

Целью работы является теоретическое исследование спектральных и поляризационных свойств фотоннокристаллических структур, организованных на основе холестерического жидкого кристалла с включением материалов с анизотропией и резонансной частотной дисперсией; изучение особенностей распространения и локализации света в таких средах; поиск новых эффективных способов управления оптическими свойствами таких структур. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать спектральные и поляризационные особенности локализованных оптических мод в структурах: «холестерик – четвертьволновая пластинка – металл», «левый холестерик – правый холестерик – металл», «дефект-содержащий холестерик – металл». Изучить, соответственно, спектры пропускания при падении света как циркулярно-поляризованного излучения, так и света линейной поляризации со стороны холестерика и металлической плёнки; зависимость частот локализованных мод от величины угла между директорами на границе противоположно закрученных холестериков; влияние на спектральные свойства толщины дефектного анизотропного слоя в холестерике. Обсудить возможности управления спектром пропускания структур посредством внешних полей, действующих на холестерик.

2. Изучить связь между дефектной модой холестерика, индуцированной твист-дефектом, и локализованной модой системы «холестерик – фазовая пластинка – металл». Рассчитать спектры пропускания структуры для различных поляризаций падающего света. Показать возможности для перестройки спектров структуры при помощи изменения угла твист-дефекта и шага спирали.

3. Аналитически и численно исследовать возможность реализации мод, образованных двумя связанными хиральными оптическими таммовскими состояниями, локализованными на границах холестерика, сопряжённого с сохраняющими поляризацию анизотропными зеркалами. Изучить влияние на спектр толщины слоя холестерика. Сравнить результаты численного расчёта с полученными аналитическими выражениями.

4. Исследовать фотонные дефектные моды в холестерике, содержащем слой нанокompозита с резонансной дисперсией. Изучить спектральное проявление расщепления границы запрещённой зоны и дефектной моды в запрещённой зоне холестерика при совпадении её частоты с резонансной частотой нанокompозита. Рассмотреть комбинированный дефект из слоя нанокompозита и твист-дефекта. Показать возможности для перестройки спектральных свойств холестерика при помощи изменения угла падения света, периода и разности фаз холестерической спирали по обе стороны дефектного слоя.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложены новые модели на основе холестерика, ограниченного металлической плёнкой, в которых могут быть возбуждены локализованные оптические моды. Показано, что для локализации света между холестериком и металлом необходимо использовать дополнительный анизотропный элемент. Таким элементом может быть, например, четвертьволновая фазовая пластинка, дополнительный слой холестерика противоположной закрутки либо анизотропный планарный дефект в холестерике.

2. Впервые изучены гибридные моды в ограниченном металлической плёнкой холестерике с твист-дефектом структуры. Показана возможность эффективного управления характеристиками таких мод путём изменения угла твист-дефекта и шага спирали холестерика.

3. Предсказаны связанные оптические моды, обусловленные взаимодействием между хиральными таммовскими состояниями, которые локализованы на границах фотонного холестерического жидкого кристалла, сопряжённого с сохраняющими поляризацию анизотропными зеркалами.

4. Впервые исследованы локализованные моды в холестерике, содержащем резонансный нанокompозитный дефект. Установлено спектральное проявление расщеплений

границы запрещённой зоны и дефектной моды в запрещённой зоне холестерика при совпадении их частот с резонансной частотой нанокомпозита.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что она вносит вклад в понимание поляризационных особенностей распространения излучения в хиральных фотонных кристаллах. Сделан вывод о необходимости использования анизотропного фазоизменяющего элемента для возбуждения локализованных мод в холестериках, ограниченных металлическим слоем. Показано, что для различных поляризаций падающего света в холестерике, сопряжённом с сохраняющими поляризацию зеркалами, возбуждаются различные типы локализованных мод, которые спектрально проявляются на разных частотах. Изучено влияние резонансной дисперсии дефектного слоя в холестерике на его спектральные характеристики.

Практическая значимость исследований заключается в расширении возможностей контроля оптических свойств фотоннокристаллических структур на основе жидких кристаллов за счёт высокой чувствительности последних к внешним воздействиям. В частности, предложено управлять характеристиками гибридных мод, возбуждаемых в ограниченном металлическим слоем холестерике, за счёт изменения угла твист-дефекта и шага спирали кристалла. Предложены способы усовершенствовать несколько уже известных миниатюрных фотоннокристаллических устройств путём использования в них жидких кристаллов.

Основные результаты работы, заключаются в следующем:

1. Предложены три структуры, содержащие ХЖК и металлическую плёнку, в которых могут быть возбуждены локализованные оптические моды. Показано, что для локализации света между ХЖК и металлом необходимо использовать дополнительный анизотропный элемент. Таким элементом, например, может быть четвертьволновая фазовая пластинка, дополнительный слой ХЖК противоположной закрутки либо анизотропный планарный дефект в ХЖК. Для структуры, содержащей четвертьволновую фазовую пластинку, предсказана анизотропия пропускания при распространении света в прямом и обратном направлении, значение которой может достигать 60%. Продемонстрированы способы для управления спектральными характеристиками предложенных структур.

2. Найдены гибридные моды в ограниченном металлической плёнкой холестерическом жидком кристалле с твист-дефектом структуры. Установлено, что для круговых поляризаций спектр различен из-за того, что для недифрагирующей поляризации пик пропускания, соответствующий дефектной моде, отсутствует. Показано, что спектр пропускания может быть перестроен при помощи изменения угла твист-дефекта и шага спирали, которыми можно манипулировать внешними воздействиями.

3. Предсказаны связанные оптические моды, обусловленные взаимодействием между хиральными таммовскими состояниями, которые локализованы на границах фотонного холестерического жидкого кристалла, сопряжённого с сохраняющими поляризацию анизотропными зеркалами. Установлено, что данные моды возбуждаются только для дифрагирующей поляризации падающего света. При уменьшении толщины слоя холестерика возникает спектральное расщепление частоты локализованного состояния с образованием симметричной и антисимметричной мод. Величина расщепления зависит от толщины слоя кристалла. Для недифрагирующей круговой поляризации локализованные моды не возбуждаются и система становится подобной резонатору Фабри-Перо, содержащему анизотропную геликоидальную структуру.

4. Исследованы дефектные моды в холестерическом жидком кристалле, содержащем резонансный нанокompозитный дефект. Установлено спектральное проявление расщепления границы запрещённой зоны и дефектной моды в запрещённой зоне ХЖК при совпадении её частоты с резонансной частотой нанокompозита. Величина расщепления дефектной моды растёт с ростом объёмной доли наночастиц в дефектном слое и может достигать 50 нм. Показана существенная зависимость характеристик дефектных мод от величины и знака разности фаз холестерической спирали по обе стороны дефектного слоя. Установлено, что шириной запрещённой зоны, положением и степенью локализации дефектных мод можно эффективно управлять посредством внешних полей, действующих на холестерик, и изменением угла падения света.

#### **ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Vetrov S. Ya., Pyatnov M. V., Timofeev I. V. Surface modes in “photonic cholesteric liquid crystal–phase plate–metal” structure // Optics Letters. – 2014. – Vol. 39, no. 9. – P. 2743-2746.

2. Vetrov S. Ya., Pyatnov M. V., Timofeev I. V. Spectral and polarization properties of a ‘cholesteric liquid crystal–phase plate–metal’ structure // Journal of Optics. – 2016. – Vol. 18, no. 1. – P. 015103.

3. Pyatnov M. V., Vetrov S. Ya., Timofeev I. V. Localised optical states in a structure formed by two oppositely handed cholesteric liquid crystal layers and a metal // Liquid Crystals. – 2017. – Vol. 44, no. 4. – P. 674-678.

4. Pyatnov M. V., Vetrov S. Ya., Timofeev I. V. Localized optical modes in a defect-containing liquid-crystal structure adjacent to the metal // Journal of the Optical Society of America B. – 2017. – Vol. 34, no. 9. – P. 2011-2017.

5. Пятнов М. В., Ветров С. Я., Тимофеев И. В. Оптические локализованные состояния в жидкокристаллической структуре, граничащей с металлом // Оптика и Спектроскопия. – 2017. – Т. 123, № 2. – С. 177-180.

6. Pyatnov M. V., Vetrov S. Ya., Timofeev I. V. Tunable hybrid optical modes in a bounded cholesteric liquid crystal with a twist defect // Physical Review E. – 2018. – Vol. 97, no. 3. – P. 032703.

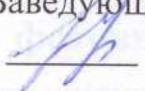
7. Coupled chiral optical Tamm states in cholesteric liquid crystals / M. V. Pyatnov, I. V. Timofeev, S. Ya. Vetrov, N. V. Rudakova // Photonics. – 2018. – Vol. 5, no. 4. – P. 30.

8. Ветров С. Я., Пятнов М. В., Тимофеев И. В. Особенности спектральных свойств холестерического жидкого кристалла с резонансным дефектным слоем нанокompозита // Физика твердого тела. – 2013. – Т. 55, № 8. – С. 1585-1589.

9. Vetrov S. Ya., Pyatnov M. V., Timofeev I. V. Photonic defect modes in a cholesteric liquid crystal with a resonant nanocomposite layer and a twist defect // Physical Review E. – 2014. – Vol. 90, no. 3. – P. 032505.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт инженерной физики и радиоэлектроники  
Базовая кафедра фотоники и лазерных технологий

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
 А.Н. Втюрин

«02» июля 2019 г.

## НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (ДИССЕРТАЦИЯ)

Новые возможности управления спектральными свойствами  
фотоннокристаллических структур на основе холестерического жидкого  
кристалла с включениями металл-диэлектрических нанокompозитных  
резонансных материалов

03.06.01 «Физика и астрономия»


01.04.05 «Оптика»

Научный руководитель  проф., д-р ф.-м. н. С.Я. Ветров

Выпускник



М.В. Пятнов

отлично  
2.07.2019г. 

Красноярск 2019